Aus der Universitäts-Frauenklinik in Tübingen.

Experimentelle Untersuchungen über den spezifischen Leitungswiderstand und über die spezifische Wärme der Gewebe des menschlichen Körpers als Grundlage für die Beurteilung des Weges von wärmeerregenden Hochfrequenzströmen.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Medizin, Chirurgie und Geburtshilfe

unter dem Präsidium

von

Dr. Hugo Sellheim
o. ö. Professor der Geburtshilfe und Gynäkologie
Vorstand der Geburtshilflich-Gynäkologischen Klinik in Tübingen.

Der

hohen medizinischen Fakultät der Universität Tübingen

vorgelegt von

Filipp Wildermuth
aus Rosario de Santa Fé.

Mit 9 Abbildungen im Text.

Jena
Gustav Fischer.
1910.

Aus der Universitäts-Frauenklinik in Tübingen.

Experimentelle Untersuchungen über den spezifischen Leitungswiderstand und über die spezifische Wärme der Gewebe des menschlichen Körpers als Grundlage für die Beurteilung des Weges von wärmeerregenden Hochfrequenzströmen.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der Medizin, Chirurgie und Geburtshilfe

unter dem Präsidium

von

Dr. Hugo Sellheim
o. ö. Professor der Geburtshilfe und Gynäkologie
Vorstand der Geburtshilflich-Gynäkologischen Klinik in Tübingen.

Der

hohen medizinischen Fakultät der Universität Tübingen

vorgelegt von

Filipp Wildermuth
aus Rosario de Santa Fé.

Mit 9 Abbildungen im Text.

ACAD. LUGD.BAT. BIBL.

Jena
Gustav Fischer.
1910.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Tübingen.
Referent: Prof. Dr. Sellheim.
1910.

Besonderer Abdruck
aus den
„Mitteilungen aus den Grenzgebieten der Medizin und Chirurgie".
Zweiundzwanzigster Band. Viertes Heft.

Dem Andenken meines Vaters.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552715_0057

In der letzten Zeit hat eine neue Form von Elektrotherapie: die „Thermopenetration“ oder „Diathermie“ viel von sich reden gemacht. Die dabei verwendeten Ströme zeichnen sich durch geringe Spannung, große Intensität, vor allem aber durch ihre hohe Frequenz bezw. hohe Polwechselzahl aus. Infolge dieser Eigenart, ihre Richtung in der Sekunde etwa bis zu 3 Millionen Mal zu wechseln, sollen sie nach den bisherigen Untersuchungen im Organismus außer der Wärmewirkung keine andere, insbesondere keine elektrolytische oder irritative Wirkung auslösen. Dieses merkwürdige Phänomen ist sowohl für Physiker als auch für Aerzte Gegenstand zahlreicher Untersuchungen geworden. Ihr Ergebnis läßt sich heute dahin zusammenfassen, daß es sich um keine spezifische, an diese Art von Ströme gebundene Wirkung handelt — wie Einzelne anfänglich anzunehmen geneigt waren — sondern um die in jedem stromdurchflossenen Leiter auftretende sogenannte Joulesche Wärme, welche sich ja ihrer Menge nach genau bestimmen läßt. Sie ist nach dem Jouleschen Gesetze dem Widerstande des Leiters — daher auch Widerstandswärme genannt — und dem Quadrat der Stromstärke proportional. Dieses wichtige Gesetz gewann auch für die Hochfrequenzströme Gültigkeit, sobald der Beweis erbracht war, daß die im tierischen Organismus auftretende Wärme identisch war mit der Jouleschen Wärme.

Der experimentelle Nachweis dieser an und für sich so wahrscheinlich und selbstverständlich erscheinenden Tatsache wurde von Nesper (1) geführt. Damit war der bei klinisch-therapeutischen Unter-

suchungen neben den Temperaturmessungen zur Kontrolle ausgegebene Joulesche Satz als zu Recht bestehend anerkannt. Und wenn man ihn auch am tierischen Organismus auf seine Richtigkeit mit mathematischer Genauigkeit zunächst nicht nachprüfen kann, so lassen doch die Diagramme Sellheims (2) unter Berücksichtigung der den Endwert ungünstig beeinflussenden Faktoren (Wärmeverschleppung) eine auffallende Uebereinstimmung erkennen. Weitere Untersuchungen nach dieser Richtung liegen noch nicht vor. Die Arbeiten von Bernd (3), Eitner (4), Nagelschmidt (5) u. a. beschäftigen sich vornehmlich mit dem therapeutischen Wirkungswerte dieser Ströme, ohne daß sie indessen, soweit wir es übersehen können, zu einem abschließenden Resultate gekommen wären. Dies mag zum Teil an der Neuheit dieser Therapieform überhaupt liegen, zum Teil — und nicht zum geringsten — aber auch an der Schwierigkeit, sich über das Anwendungsgebiet dieser Ströme ein klares Bild zu verschaffen. Näher bestimmt kann aber dieses Gebiet nur werden an der Hand physikalisch-physiologischer Daten, die auf Grund von Untersuchungen über das Verhalten dieser eigenartigen Ströme innerhalb des gesunden Gewebes und des lebendigen Organismus zu gewinnen wären.

Prüfen wir die bei der therapeutischen Anwendung dieser Ströme in Betracht kommenden Faktoren, so sind neben anderen, wie Stromstärke und Spannung, der spezifische Widerstand der Gewebe und die spezifische Wärme vom physikalischen, der Grad der Blutdurchströmung vom physiologischen Standpunkte aus die wichtigsten. Welche Faktoren für den ersteren, welche für den letzteren insgesamt in Betracht kommen, ist schwer zu sagen. Doch läßt sich mit gutem Grunde annehmen, daß die Zellart, der Gehalt an Flüssigkeit und deren Qualität, die Struktur des Gewebes eine Rolle dabei spielen, ohne daß man deshalb sagen könnte, welchem von den genannten Faktoren die größere Bedeutung zuzuschreiben wäre. Gerade die Schwierigkeit, über den spezifischen Widerstand und die spezifische Wärme der Organe im lebenden Organismus etwas Positives, Zahlenmäßiges zu geben, hat schließlich dazu geführt, daß man sich mit der Kontrolle des Temperaturanstieges als dem praktisch wichtigsten begnügte. Indessen blieb die Forderung, daß eine zweckbewußte Anwendung dieser Ströme erst an der Hand bestimmter physiologischer Daten möglich ist, nach wie vor bestehen. Wir möchten nun in folgendem die Resultate unserer Untersuchungen, die wir zur Bestimmung des spezifischen Widerstandes und der spezifischen Wärme allerdings am toten Gewebe anstellen mußten, mitteilen.

Den sicher berechtigten Einwand, daß sich für das lebende Gewebe, an dem wir aus begreiflichen Gründen solche Untersuchungen nicht anstellen konnten, andere Zahlenwerte ergeben dürften, als für das tote, erkennen wir in vollem Umfange an. Allein wir sind auch

der Ueberzeugung, daß die auf unserem Wege gefundenen Werte, sofern man diesen Fehler im Auge behält, einen den wirklichen Verhältnissen immer noch näher zu bringen vermögen, als vage theoretische Spekulationen.

Für die Anordnung solcher Versuche sind jedoch neben diesen physiologischen auch noch physikalische und praktische Gesichtspunkte in Erwägung zu ziehen. Wenn auch die Eigenart der Leiter, die aus Geweben und Flüssigkeiten des Körpers bestehen, eine wesentliche Abweichung von den üblichen für den Physiker in Betracht kommenden Bestimmungsmethoden nicht bedingt, so ist doch zu erwägen, daß wir es mit keinem homogenen Leiter zu tun haben. Ein Muskel z. B. kann, streng genommen, weder rein als Leiter erster Ordnung [1]), noch rein als Leiter zweiter Ordnung angesehen werden, da er unter dem Einflusse der Temperatur sowohl seinen Aggregatzustand, als auch seine Struktur und damit die Bedingungen seiner Leitfähigkeit ändert.

Im ersten Falle kommt der Zeit, während der der Strom hindurchgeht, und dem Uebergangswiderstande [2]) ein wesentlicher Einfluß zu. Im zweiten Falle treten diese Faktoren mehr zurück, während Eigentemperatur und Flüssigkeitsgehalt der Gewebe an Bedeutung gewinnen. Aber auch in einem anderen Sinne spielt die Zeit bei tierischen Leitern eine Rolle. Das Vermögen des abgestorbenen, aber sonst normalen Gewebes, den elektrischen Strom zu leiten, bleibt sich nicht gleich. Es ändert sich, steigt und fällt, je nach den chemischen und physikalischen Veränderungen, die das betreffende Gewebe nach dem Tode erleidet. Der Grad dieser Veränderungen, die zum Teil in Gerinnungs- und Zersetzungsvorgängen, zum Teil in Aenderungen des Flüssigkeitsgehaltes und der Struktur bestehen, hängt neben anderem auch von der Länge der seit dem Tode verstrichenen Zeit ab.

Was nun die Bestimmung der spezifischen Wärme anbetrifft, so kommen hier die für jede Wärmebestimmung zu beachtenden Fehlerquellen bezw. Kautelen in Betracht. Da es sich jedoch für uns weniger darum handelt, genaue absolute als genaue relative Werte für die Größe der spezifischen Wärme zu finden, so werden diese durch etwaige Fehler (Wärmeverlust an die Umgebung), da sie im allgemeinen doch dieselben sind, nicht wesentlich beeinflußt. Schließlich bleibt noch zu erwähnen, daß Untersuchungen, wie die von uns angestellten, wenn irgend möglich, stets mit den gleichen Volumina der Gewebe arbeiten sollten, eine Forderung, die, so sehr sie im Interesse der Genauigkeit dieser Bestimmungen liegt, für die Haut und das Fettgewebe leider nicht

1) Man unterscheidet nach Volta Leiter I. und II. Ordnung, zu jenen gehören alle Metalle und die Kohle, zu diesen die Elektrolyte.

2) Man versteht darunter den Widerstand, welchen der Strom zu überwinden hat, um von einem Leiter auf einen anderen mit diesem in Kontakt stehenden überzugehen.

durchgeführt werden konnte. Die angeführten Fehlerquellen lassen sich — wie alle derartigen Fehlerquellen — praktisch am ehesten dadurch bekämpfen, daß man die Versuchsreihe möglichst groß anlegt und aus den gefundenen Werten die Mittelwerte bestimmt. Wenn wir uns im vorliegenden Falle nicht danach richteten, so liegt der Grund hierfür lediglich darin, daß eine solche Zahl von Versuchen über den Rahmen dieser Arbeit, die nicht mehr als eine vorläufige Orientierung geben möchte, hinausgehen würde.

Unsere Apparatur.

Innerhalb der durch diese Schwierigkeiten gesetzten Schranken trafen wir nun folgende Versuchsanordnung. Der Bedingung, stets mit denselben Volumina zu arbeiten, wurden wir dadurch gerecht, daß wir Hohlzylinder von derselben Lichte und Länge, also von bestimmtem

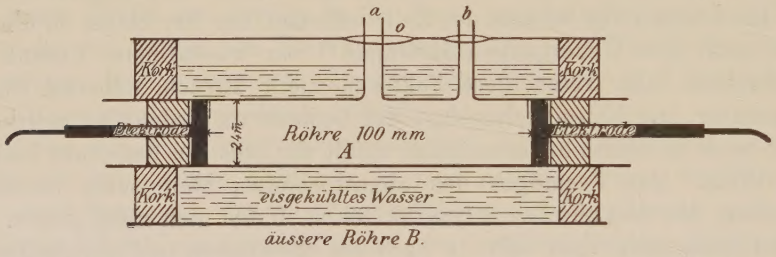

Fig. 1 (schematisch). *a* Mittlerer Stutzen zum Einführen des Thermometers, *b* seitlicher Stutzen, der dem Ausdehnungsbestreben der erwärmten Substanz Rechnung trägt. Die kleine Röhre *A*, welche das zu untersuchende Gewebe enthält, ist mittels Korkstopfen wasserdicht in die große Röhre *B* eingesetzt. Diese kann durch die Oeffnung *o* mit Eiswasser gefüllt werden.

unter sich gleichem Inhalte benützten. Da dieselben zugleich Isolatoren sein mußten, verwendeten wir Glasröhren, deren Lichte 24 mm, deren Länge 140 mm betrug. Genau in der Mitte der kräftigen Röhre befand sich — zum Einführen des Thermometers — ein kleiner Stutzen *a* (Fig. 1). Nicht weit davon ein kleinerer, zweiter *b*, welcher der wenn auch geringen Ausdehnung des Inhaltes und den etwa sich entwickelnden Dämpfen Rechnung trug. Der größeren Genauigkeit wegen versahen wir alle unsere Röhren mit Marken, so daß ihr Inhalt, wenn man die freien Enden mit einem einfach durchbohrten Gummistopfen verschloß, dem Volumen von 45 ccm gleich kam. Die zur Durchwärmung der Leitermassen benützten scheibenförmigen Elektrodenplatten waren alle unter sich in Durchmesser und Stärke gleich und genau in die Röhren gepaßt. Dadurch blieb der Weg selbst bei starker Annäherung der Elektroden für die Stromlinien stets derselbe. Um die Temperatur des Inhaltes für die Zeit der Bestimmung möglichst auf gleicher Höhe zu erhalten, war es notwendig, die Röhren mit gekühltem Wasser zu umspülen (Fig. 1).

Unser Normalwiderstand.

Bei unseren Untersuchungen benützten wir als Vergleichswiderstand einen Elektrolyten, weil Temperaturbeobachtungen sich bei einem solchen leicht und exakt ausführen ließen. Ein weiterer Vorteil lag für uns ferner darin, daß wir die Größe des Widerstandes bei vorgeschriebener Masse des Leiters durch Verschieben der Elektroden bei diesem leicht variieren konnten. Diese Anordnung gestaltete, wie wir später sehen werden, die Bestimmung des spezifischen Widerstandes und der spezifischen Wärme verhältnismäßig einfach. Zugleich umgingen wir durch die Wahl dieses „Normalwiderstandes“ die bei den Hochfrequenzströmen beträchtliche Selbstinduktion des metallischen Leiters. Allerdings kamen dafür die Uebergangswiderstände der Salzlösung als ungünstiger Faktor neu hinzu. Der von uns benützte Elektrolyt bestand in einer chemisch reinen Kochsalzlösung von 0,5-proz. NaCl-Gehalt. An der Hand physikalischer Tabellen ließ sich dessen Widerstand für jede Temperatur leicht bestimmen. Wir glaubten nun keinen allzu großen Fehler zu begehen, wenn wir den für die Kochsalzlösung ermittelten Widerstandswert auch für die Hochfrequenzströme als gleich erachteten. Da wir annehmen konnten, daß die Größe des Widerstandes sich mit der Temperatur des Gewebes ändert, so entstand die Frage, welche Temperatur für die Bestimmung des spezifischen Widerstandes klinisch am meisten interessieren dürfte. Doch wohl die Körper- und eventuell die Gerinnungstemperatur. Demzufolge wurde auch der spezifische Widerstand der verschiedenen Gewebe zunächst bei diesen Temperaturen bestimmt. Die Temperatur des Elektrolyten kam für unsere Untersuchungen nur insofern in Betracht, als sie bei jeder Bestimmung genau dieselbe sein mußte. Die unserem Normalwiderstande zugrunde gelegte Temperatur war $+18^{0}$ C. Für die Wahl gerade dieser Temperatur waren lediglich Gründe der Opportunität[1]) maßgebend.

Schaltung.

Nun noch ein Wort über die Anordnung der Schaltung. Wir unterscheiden in der Elektrotechnik Reihen- und Parallelschaltung. Die Bedeutung dieser oder jener Schaltung für den jeweils angestrebten Endeffekt hat Walter (6) in einer kürzlich erschienenen Arbeit ausführlich und klar dargelegt. Für unsere Untersuchungen wählten wir je nach der Zweckmäßigkeit der Anordnung einmal die Parallel-, das andere Mal die Reihenschaltung.

---

1) Die von Kohlrausch aufgestellten Tabellen gehen von dieser Temperatur aus.

Gang der Widerstandsberechnung.

Die physikalische Bestimmung des spezifischen Widerstandes gestaltete sich bei der hier wiedergegebenen Parallelschaltung der Röhren folgendermaßen. Zwei Röhren *A* und *B* (Fig. 2) von gleichem lichten Durchmesser wurden parallel zueinander in den äußeren Schließungskreis des Thermopenetrationsapparates geschaltet. Die Röhre *A*, deren Inhalt ein für allemal markiert worden, war mit der zu untersuchenden Substanz, die Röhre *B* mit 0,5-proz. NaCl-Lösung gefüllt. Sie stellte mit ihren verschiebbaren Elektroden unseren Vergleichswiderstand dar. Die von den Elektroden zum Thermopenetrationsapparat ziehenden Leitungsdrähte waren genau von gleicher Länge, und deshalb der äußere Leitungswiderstand für jedes System derselbe.

In den Stromkreis beider Röhren war außerdem ein Hitzdrahtampèremeter von bekanntem Widerstand eingeschaltet. Die den Leiter *A* und *B* passierende Stromstärke konnte so jederzeit abgelesen werden.

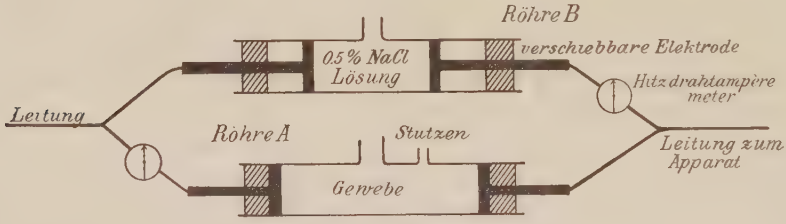

Fig. 2 (schematisch).

Für die Berechnung des spezifischen Widerstandes gingen wir von folgender Ueberlegung aus. Nach dem Ohmschen Gesetz ist der in einem linearen Leiter auftretende Widerstand, direkt proportional der Länge, umgekehrt proportional dem Querschnitt und der Leitfähigkeit des stromdurchflossenen Leiters. Als Formel ausgesprochen

$$w = \frac{l}{q\,k}.$$

Wenn wir nun durch Verschieben der Elektroden in unseren Systemen

$$w_m = w_1$$
$$w_d = w_2$$
$$w_n = w_3$$

machten — wobei w_1, w_2, w_3 den Widerstand der NaCl-Lösung, w_m, w_d, w_n den Widerstand der verschiedenen Gewebe wie Muskel, Darm, Niere etc. bedeutet — so verhielten sich die Widerstände der verschiedenen Gewebe proportional, wie die durch den Abstand der Elektroden gegebenen Widerstände der NaCl-Lösung. Schwankungen der Stromstärke und Stromspannung konnten, und das ist wesentlich dabei, auf

das Größenverhältnis der so bestimmten Widerstände keinen Einfluß ausüben, wie z. B. auch eine im Gleichgewicht befindliche Wage durch eine beiderseitige, gleichwertige Mehrbelastung nicht aus dem Gleichgewicht kommt. Daß diese Ueberlegung richtig war, läßt sich durch folgende mathematische Gleichung nachweisen. Wenn wir bei den verschiedenen Versuchen den Widerstand der NaCl-Lösung mit w_1, w_2, w_3 etc., den Widerstand der zu untersuchenden Substanzen mit w_m, w_d, w_n etc., den Abstand der Elektroden mit l, den Querschnitt mit q, die Leitfähigkeit des Leiters mit k bezeichnen, so lassen sich folgende Gleichungen aufstellen

1. $w_m = w_1$
2. $w_d = w_2$
3. $w_n = w_3$ u. s. f.

Nun ist nach dem Ohmschen Gesetz aber auch

$$w_m = \frac{l'}{q\,k_m} \qquad w_1 = \frac{l_1}{q\,k}$$

$$w_d = \frac{l''}{q\,k_d} \qquad w_2 = \frac{l_2}{q\,k}$$

$$w_n = \frac{l'''}{q\,k_n} \qquad w_3 = \frac{l_3}{q\,k} \quad \text{u. s. f.}$$

Setzen wir diese Werte nacheinander in Gleichung 1, 2 und 3 ein, so erhalten wir

$$\frac{l'}{q\,k_m} = \frac{l_1}{q\,k}$$

$$\frac{l''}{q\,k_d} = \frac{l_2}{q\,k}$$

$$\frac{l'''}{q\,k_n} = \frac{l_3}{q\,k} \quad \text{u. s. f.}$$

Da nun $l' = l'' = l'''$ ist, so läßt sich folgende Proportion aufstellen:

$$\frac{1}{k_m} : \frac{1}{k_d} : \frac{1}{k_n} = l_1 : l_2 : l_3 \text{ u. s. f.}$$

d. h. die Widerstände verhalten sich wie die Abstände der Elektroden unserer NaCl-Lösung. Nun ist aber die spezifische Leitfähigkeit gleich dem reziproken Wert des spezifischen Widerstandes des betreffenden Leiters, und somit

$$k_m : k_d : k_n = \frac{1}{l_1} : \frac{1}{l_2} : \frac{1}{l_3} \text{ u. s. f.}$$

Praktisch gestaltete sich die Untersuchung folgendermaßen. Die Röhre *A* wurde bis zu den Marken mit der zu untersuchenden Substanz beschickt und mittels des Thermopenetrationsstromes auf Körper- bzw. Gerinnungstemperatur gebracht; die Röhre *B* mit 0,5-proz. NaCl-Lösung gefüllt und auf 18° C erwärmt. Durch Verschieben der Elektroden (Fig. 2) änderten wir nun unter Kontrolle der Hitzdraht-

ampèremeter den Widerstand der NaCl-Lösung so lange, bis durch beide Leiter gleiche Strommengen flossen. Dies trat dann ein, wenn der Widerstand der NaCl-Lösung gleich dem Widerstand der zu untersuchenden Substanz, also z. B. $w_m = w_1$ war. Nun wurde der Abstand der Elektroden gemessen. Damit war der relative, auf unseren Normalwiderstand bezogene und, weil der Widerstand der NaCl-Lösung berechenbar, auch der absolute Wert des spezifischen Widerstandes für das betreffende Gewebe jeweils bekannt und leicht zu bestimmen. In den vorliegenden Untersuchungen ist der Widerstand der Drahtleitung — weil verschwindend klein im Verhältnis zum Gewebswiderstand — nicht in Betracht gezogen. Ebenso ist der Uebergangswiderstand, d. h. der Widerstand, welchen der Strom bei seinem Uebergang von Elektrode zu Substanz überwinden muß, nicht weiter berücksichtigt. Dagegen ist der Widerstand der beiden Hitzdrahtinstrumente in Rechnung gezogen.

Gang der thermischen Berechnung.

Für die Bestimmung der spezifischen Wärme gingen wir von folgender Ueberlegung aus. Nach der Formel $Q = Z\,m\,s$ ist die Wärmemenge Q gleich dem Produkt aus der Temperaturzunahme Z, der Masse m und der spezifischen Wärme s der betreffenden Substanz. Ferner ist nach dem Joule'schen Gesetz die in einem stromdurchflossenen Leiter entstehende Wärmemenge $Q = c\,i^2\,w\,t$, wobei c eine Konstante, i die Stromstärke, w den Widerstand und t die Zeit bedeuten. Stellten wir nun für unsere beiden Systeme in der vorbeschriebenen Weise den gleichen Widerstand her, so war die Strommenge und nach dem Joule'schen Gesetz offenbar auch die eingeführte Wärmemenge dieselbe. Wir konnten also, wenn die Röhre *A* mit der zu untersuchenden Substanz, die Röhre *B* mit der 0,5-proz. NaCl-Lösung beschickt war, auf Grund des oben ausgeführten für beide Systeme $Q' = Q_1$ setzen, wobei Q' die dem zu untersuchenden Gewebe, Q_1 die der NaCl-Lösung zugeführte Wärmemenge bedeutet[1]).

Praktisch gestaltete sich die Untersuchung folgendermaßen. Wir beschickten unsere watteumwickelten, parallel zu schaltenden Röhren mit einer genau abgewogenen Menge des zu untersuchenden Gewebes, bzw. mit einer bestimmten Gewichtsmenge der 0,5-proz. NaCl-Lösung, und stellten durch Verschieben der Elektroden diese auf den für das betreffende Gewebe geltenden Widerstandswert ein. Hierauf lasen wir

1) Der Widerstand ist, streng genommen, nur im ersten Beginn für beide Systeme derselbe, da er mit Zunahme der Temperatur sich ja ändert. Allein die dadurch bedingte Differenz der zugeführten Strommengen ist innerhalb der ersten Sekunden so gering, daß wir an der Methode festhielten, um so mehr als wir die kalorimetrische Bestimmungsmethode nebenher als Kontrolle anwendeten.

an einem durch den mittleren Stutzen eingeführten Thermometer die mittels des Thermopenetrationsstromes bewirkte Wärmezunahme ab, und berechneten für jede unserer Bestimmungen den Wert der spezifischen Wärme des betreffenden Gewebes an der Hand folgender Gleichungen:

$$1.\ Q_1 = Z_1\, m_1\, s_1$$
$$2.\ Q' = Z'\, m'\, s'$$

Da nun nach dem oben Angeführten aber $Q' = Q_1$ ist, so ergibt sich

$$Z'\, m'\, s' = Z_1\, m_1\, s_1$$
$$s' = \frac{Z_1\, m_1\, s_1}{Z'\, m'},$$

oder, da die spezifische Wärme der 0,5-proz. NaCl-Lösung füglich $= 1$ gesetzt werden kann: die spezifische Wärme des untersuchten Gewebes ist gleich dem Produkt aus Gewichtsmenge und Temperaturzunahme der NaCl-Lösung dividiert durch das Produkt aus Gewichtsmenge und Temperaturzunahme des betreffenden Gewebes. Danach ließ sich die spezifische Wärme für jede Substanz berechnen, außer für die Haut. Bei dieser waren Temperaturbestimmungen infolge der dünnen Schicht mit genügender Genauigkeit nicht durchzuführen. Wir bedienten uns deshalb der kalorimetrischen Methode, welche wir dann auch bei den übrigen Untersuchungen zur Kontrolle heranzogen.

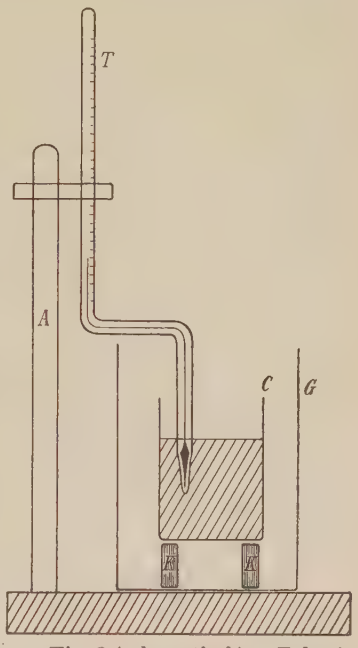

Fig. 3 (schematisch). *T* das in Zehntelgrad geteilte Thermometer, *C* poliertes und vernickeltes Messinggefäß, *G* Glasgefäß, *K* Korkstücke.

Die dazu notwendige Apparatur ist einfach (Fig. 3). Das becherartige, auf isolierenden Korkplatten *K* ruhende Kalorimeter *C* besteht aus dünnem, fein poliertem oder besser fein vernickeltem Messingblech. Um den Einfluß der Außentemperatur fernzuhalten, ist dasselbe in einem größeren Glasgefäß *G* so untergebracht, daß zwischen der Wand des Kalorimeters und der umgebenden Gefäßwand überall ein größerer Abstand herrscht. Von dem Arm *A* gehalten, taucht ein rechtwinklig geknicktes Thermometer *T* in das Kalorimeter ein. Eine (für die zu den Wärmebestimmungen notwendigen Wägungen) empfindliche Wage und ein für niedrige Temperaturen — + 41° C — eingerichteter Brutofen, um die Gewebe zu erwärmen, vervollständigten die von uns benützte Apparatur.

Praktisch gestaltete sich eine Bestimmung folgendermaßen: Zunächst stellten wir das Gewicht des Kalorimeters *C* fest, füllten dasselbe mit

einer genau abgewogenen Menge Wasser an und notierten uns nach Eintauchen des Thermometers die an diesem abgelesene Temperatur. Hierauf wogen wir von der zu untersuchenden Substanz eine gewisse Menge ab, befestigten sie, um sie im Brutofen aufhängen zu können, an einem dünnen Faden und erwärmten sie in demselben auf 41 ° [1]). Nicht mehr! Denn die damit verbundenen Veränderungen führen zu falschen Werten. Um den Wasserverlust flüssigkeitsreicher Organe, welcher ja für den Zahlwert der spezifischen Wärme von Bedeutung ist, möglichst zu reduzieren, stellten wir im Brutofen Schalen mit Wasser auf. Das betreffende Gewebe blieb dann etwa 4 Stunden darin. Nicht viel länger, um jeden unnötigen Wasserverlust zu vermeiden; nicht viel kürzer, weil das Gewebe, besonders die schlechtleitende Haut — wie Beobachtungen am eingebundenen Thermometer lehrten — so lange brauchte, um die Temperatur von 41 ° anzunehmen. War diese Zeit verstrichen, so öffneten wir den Brutofen, nahmen das Gewebe rasch heraus und tauchten es, am Faden haltend, in die Wassermenge des Kalorimeters — das natürlich zu diesem Zweck möglichst in der Nähe aufgestellt sein muß — und notierten die entstandene Mischungstemperatur.

Die Berechnung des spezifischen Wärmewertes gestaltete sich folgendermaßen. Ist m das Gewicht des im Kalorimeter befindlichen Wassers, t seine Anfangstemperatur, M das Gewicht des Gewebes, T dessen Anfangstemperatur, c seine spezifische Wärme und ϑ die entstandene Mischungstemperatur, so hat das Gewebe die Wärmemenge $M\,c\,(T - \vartheta)$ abgegeben, das Wasser die Wärmemenge $m\,(\vartheta - t)$ aufgenommen.

Beide Wärmemengen sind jedoch einander gleich,

also $$M\,c\,(T - \vartheta) = m\,(\vartheta - t), \text{ woraus}$$

sich ergibt $$c = \frac{m\,(\vartheta - t)}{M\,(T - \vartheta)}.$$

Da das Kalorimeter selbst einen Teil der vom Gewebe abgegebenen Wärme aufnimmt, so muß dies, wenn die Bestimmung Anspruch auf größere Genauigkeit macht, in Rechnung gezogen werden. Die Gleichung erfährt dann folgende Erweiterung:

$$c = \frac{(\mu \cdot 0{,}093 + m)\,(\vartheta - t)}{M\,(T - \vartheta)},$$

worin μ die Gewichtmenge des Kalorimeters, die Zahl 0,093 die spezifische Wärme des Messings bedeutet. Die an das Thermometer abgegebene Wärmemenge berücksichtigten wir in der Rechnung nicht weiter, sondern beschränkten uns darauf, ein Thermometer mit mög-

---

[1]) Um die Erwärmung nach Möglichkeit zu beschleunigen und gleichmäßig zu gestalten, tut man gut, die Gewebsstücke so abzutrennen, daß ihre Oberfläche möglichst groß, ihr Dickendurchmesser möglichst gering ist.

lichst geringer Kapazität, d. h. mit möglichst kleinem Quecksilbergefäß, zu verwenden.

Wir geben zunächst einige Diagramme wieder, die den Einfluß der Temperatur auf das Verhalten des Leitungswiderstandes in den ververschiedenen Geweben erkennen lassen. Um uns ein klares Bild über die Schwankungen desselben zu verschaffen, haben wir die mittlere Abnahme des Leitungswiderstandes Δ_k auf $+1^0$ in Prozenten von k 37,5 ausgedrückt[1]). Schließlich ist noch nachzutragen, daß wir unseren Berechnungen als Einheit den Widerstand einer chemisch reinen 0,5-proz. NaCl-Lösung bei $+18^0$ C zugrunde legten, deren Querschnitt 4,53 qcm, deren Länge 10 cm und deren Leitfähigkeit 0,0075 betrug.

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen.

Fig. 4 gibt das Verhalten des Leitungswiderstandes im tierischen Muskelgewebe wieder. Der Strom verläuft in der Richtung der Muskelfaser. Das Diagramm, in dem die Abnahme des Leitungswiderstandes als Funktion der Temperatur dargestellt ist, läßt zunächst erkennen,

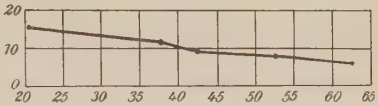

Fig. 4. Maßstab 1 : 10. Diagramm für die Abnahme des Leitungswiderstandes im tierischen Muskel (Kalb). Spez. Widerstand 1,1—1,3, spez. Wärme 0,83.

daß mit zunehmender Temperatur der Widerstand des Gewebes abnimmt. Diese Abnahme ist aber keine Grad für Grad gleichwertige. So erreicht sie, wenn man die Verringerung des Elektrodenabstandes dafür als Maß nimmt, im vorliegenden Falle bei einer Temperaturerhöhung

von $20{,}5^0$ auf $37{,}5^0$ 40 mm
„ $37{,}5^0$ „ $42{,}5^0$ 22 „
„ $42{,}5^0$ „ $52{,}5^0$ 8 „

In Prozenten von k 37,5 ausgedrückt, beträgt die mittlere Widerstandsabnahme auf $+1^0$ im ersten Fall 2 Proz., im zweiten Fall 3,8 Proz., im dritten Fall nur 0,7 Proz. Die relative Widerstandsabnahme ist demnach innerhalb der vitalen Temperaturgrenzen des Gewebes am größten, diesseits und jenseits derselben geringer. Daß dieses Optimum der relativen Widerstandsabnahme auch für die anderen Gewebe in gleicher Weise besteht, lassen die folgenden Diagramme (Fig. 5 u. 6) erkennen.

Für den menschlichen Muskel beträgt der spezifische Widerstand, wenn der Strom in der Richtung der Muskelfaser fließt und die Ueber-

---

1) Obwohl die Abnahme des Leitungswiderstandes nicht proportional der Temperaturzunahme erfolgt, so haben wir doch in Analogie mit den von Kohlrausch für das Leitvermögen der Elektrolyten aufgestellten Tabellen die Berechnung von Δ_k unternommen.

gangswiderstände im wesentlichen dieselben bleiben, etwa 1,2—1,5, seine spezifische Wärme etwa 0,84—0,9 (Fig. 5). Berechnen wir in derselben Weise wie vorher die mittlere Widerstandsabnahme, so erhalten wir für die Temperaturerhöhung

von 20,5° auf 37,5° 1,3 Proz.
„ 37,5° „ 42,5° 3,8 „
„ 42,5° „ 52,5° 0,7 „

als jeweiligen Wert für Δ_k. Das Optimum der relativen Widerstandsabnahme liegt also beim menschlichen Muskel innerhalb der vitalen Temperaturgrenzen des Gewebes und erreicht jenseits derselben, d. h. im geronnenen Gewebe, ihren niedrigsten Wert.

Der spezifische Widerstand der Hirnsubstanz beträgt etwa 5,5 bis 6,8, seine spezifische Wärme etwa 0,8 bis 0,85 (Fig. 6).

Das Verhalten des normalen Gewebes spiegelt sich in den Kurven I und II wieder. Bei Kurve III handelt es sich um ein infolge ent-

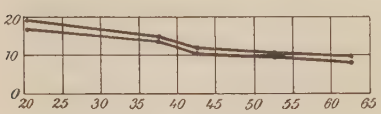

Fig. 5.

Fig. 5. Maßstab 1 : 10. Diagramm für die Abnahme des Leitungswiderstandes im menschlichen Muskel. Spez. Widerstand 1,2—1,5, spez. Wärme 0,84—0,9.

Fig. 6. Maßstab 1 : 10. Diagramm für die Abnahme des Leitungswiderstandes im menschlichen Hirn. I und II normales Gewebe, III entzündliches Gewebe. Spez. Widerstand 5,5—6,8, spez. Wärme 0,8—0,85.

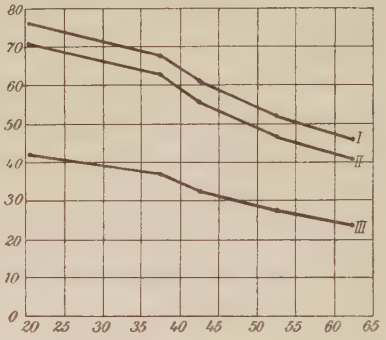

Fig. 6.

zündlicher Prozesse ziemlich flüssigkeitsreiches Hirn, dessen spezifischer Widerstand beinahe auf die Hälfte des normalen, nämlich auf 3,7 sinkt. Δ_k ist für die Temperaturerhöhung

von 20,5° auf 37,5°	= 0,73	Proz.	b. K.	I
	= 0,74	„	„ „	II
	= 0,8	„	„ „	III
von 37,5° auf 42,5°	= 2,05	„	„ „	I
	= 2,06	„	„ „	II
	= 2,1	„	„ „	III
von 42,5° auf 52,5°	= 1,3	„	„ „	I
	= 1,4	„	„ „	II
	= 1,4	„	„ „	III

Das Optimum der relativen Widerstandsabnahme liegt für die Hirnsubstanz innerhalb der vitalen Temperaturgrenzen, während ihr Minimum nicht wie beim Muskel jenseits, sondern diesseits derselben zu suchen ist. Schließlich läßt sich noch aus dem dritten Fall ersehen

daß Prozesse, die zu einer Anreicherung der Gewebsflüssigkeit führen, auf den absoluten Wert des spezifischen Widerstandes eines Organes einen großen — in unserem Fall widerstandsvermindernden — Einfluß ausüben.

Die spezifische Wärme der Leber beträgt 0,75 bis 0,8, ihr spezifischer Widerstand schwankt außerordentlich (Fig. 7). Der Flüssigkeitsgehalt bestimmt neben dem Bindegewebsreichtum den Leitungswiderstand mit am meisten. Während für das normale Gewebe der Wert um 2,8 bis 3,3 herum liegt, steigt er bei leichter Induration des Organes auf 3,7 und mehr (Kurve I). Δ_k beträgt für die Temperaturerhöhung

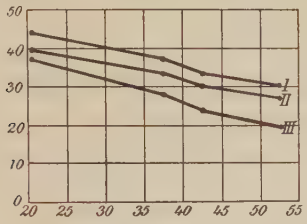

Fig. 7.

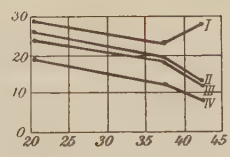

Fig. 8.

Fig. 7. Maßstab 1 : 10. Diagramm für die Abnahme des Leitungswiderstandes in der menschlichen Leber. I leicht bindegewebig indurtertes Gewebe, II und III normales Gewebe. Spez. Widerstand 2,8—3,3, spez. Wärme 0,75—0,8.

Fig. 8. Maßstab 1 : 10. Diagramm für die Abnahme des Leitungswiderstandes im menschlichen Darme. I Darm mit Gasblasen, II und III reiner normaler Darm, IV Darm mit breiig-flüssigem Inhalte. Spez. Widerstand 1,5—1,9, spez. Wärme 0,75—0,81.

von 20,5° auf 37,5°	1,08	Proz.	b.	K.	I
	1,04	„	„	„	II
	1,8	„	„	„	III
von 37,5° auf 42,5°	2,1	„	„	„	I
	2,08	„	„	„	II
	2,8	„	„	„	III
von 42,5° auf 52,5°	0,81	„	„	„	I
	0,9	„	„	„	II
	1,6	„	„	„	III

Darnach liegt also das Optimum der relativen Widerstandsabnahme innerhalb der vitalen Temperaturgrenzen des Gewebes, ihr Minimum jenseits derselben.

Am schwierigsten gestalten sich die Verhältnisse beim Darm. Relativ leicht lassen sich spezifische Wärme, spezifischer Widerstand für das reine Gewebe bestimmen. Sie betragen 0,75—0,81 bezw. 1,5 bis 1,97 (Fig. 8). Welchen Schwankungen jedoch der Leitungswiderstand allein durch die Qualität der Füllung unterworfen ist, zeigen die oberste und unterste Kurve des Diagramms. Bei jener sind innerhalb des Darmabschnittes verschiedene, über das ganze Darmlumen verteilte

Gasblasen vorhanden. Infolgedessen steigt der spezifische Widerstand sofort auf 2,4. Für die Temperaturerhöhung von 20,5° auf 37,5° bleibt die relative Widerstandsabnahme zunächst ungestört. Sobald jedoch einzelne Blasen unter dem Einfluß der Erwärmung sich verlagern, können, wie die Kurve zeigt, die Widerstandsbedingungen sich so ändern, daß wir keine Abnahme, sondern Zunahme derselben konstatieren müssen. Gerade entgegengesetzt wirkte, wie die untere Kurve erkennen läßt, ein breiig-flüssiger Inhalt. Er drückte in unserem Fall den spezifischen Widerstand auf 1,2 herunter, ohne dabei die relative Widerstandsabnahme wesentlich zu stören.

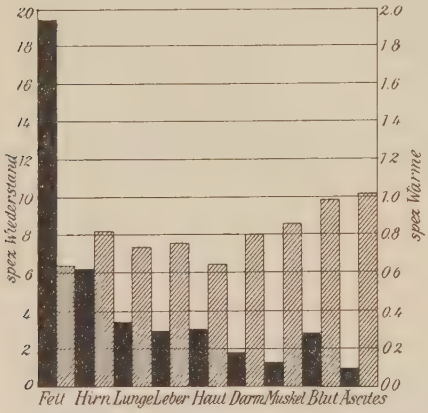

Fig. 9. Tabelle für den spezifischen Leitungswiderstand (bei + 37,5° C) sowie für die spezifische Wärme verschiedener Gewebe und Flüssigkeiten des menschlichen Körpers.

Aehnlich kompliziert liegen nach unseren Untersuchungen auch die Widerstandsbedingnngen in der Lunge. Ihr Blutreichtum, ihr Luftgehalt sind für die Größe des spezifischen Widerstandes ausschlaggebend. Mehr oder weniger starke Kompression des Gewebes beim Füllen der Röhren kann für ein und dasselbe Organ ganz verschiedene Werte geben. Am günstigsten liegen die Bedingungen bei den Körperflüssigkeiten und beim Muskelgewebe. Für die übrigen Gewebe schwankt der Wert oft außerordentlich.

Dies trifft insbesondere auch für das Fettgewebe zu, das je nach seinem Gehalt an Gewebsflüssigkeit einmal einen relativ geringen, ein anderes Mal einen außerordentlich großen Leitungswiderstand aufweisen kann. So beobachteten wir, daß das Unterhautfettgewebe dicker Individuen einen kleineren spezifischen Widerstand besitzt, als das magerer Individuen. In der Tabelle (Fig. 9) haben wir die mittelst unserer Methode gefundenen Resultate zusammengestellt.

Zusammenfassung.

Wie wir schon oben ausführten, legten wir unseren Berechnungen als Einheit den Widerstand einer chemisch reinen 0,5-proz. NaCl-Lösung, deren Querschnitt = 4,53 qcm, deren Länge = 10 cm, deren Leitfähigkeit = 0,0075 war, bei + 18° C. zugrunde. Nach der Formel

$$w = \frac{l}{q\,k}$$

ließ sich der Widerstand dieser NaCl-Lösung berechnen.

Da Länge, Querschnitt und Leitfähigkeit bekannt waren, so konnten wir folgenden Wert aufstellen:

$$w = \frac{10}{0{,}0075 \cdot 4{,}53}$$

$$w = 294\ \Omega$$

Wir brauchen also nur unseren in der Tabelle eingetragenen Widerstandswert wit 294 zu multiplizieren, um sofort für das betreffende Gewebe die absolute Größe des spezifischen Widerstandes in Ohm zu erhalten. Selbstverständlich variieren die so gefundenen Zahlwerte innerhalb weiter Grenzen, allein das ist bei der Qualität der Leiter nun einmal nicht zu ändern.

Während der spezifische Widerstand der Ascitesflüssigkeit kleiner als 1 ist, liegen die Widerstandswerte des Blutes und der aller Gewebe darüber. Den bedeutendsten erreicht das Fettgewebe mit 19,4 und mehr, was natürlich ist. Ihm zunächst steht in der Widerstandsreihe die Hirnsubstanz mit 5,5—6,8, ein auffallend hoher Wert, der sich jedoch durch den bedeutenden Fettgehalt des Gewebes zur Genüge erklären läßt. Dann folgt die Lunge mit 3,5—4,0, weiter die Leber mit 2,8—3,3 und die Haut mit 2,5—3. Dieser Wert erscheint zunächst im Vergleich zu den anderen Organen vielleicht niedrig. Wir dürfen jedoch nicht vergessen, daß die Haut unmittelbar nach dem Tode nicht dieselben tiefgreifenden physikalischen Veränderungen erleidet, wie die übrigen Organe, bei denen der erhebliche Flüssigkeitsverlust den Wert des Leitungswiderstandes im ungünstigen Sinne beeinflußt. Dazu kommt für den lebenden Organismus im Uebergangswiderstand ein weiteres Moment hinzu, das sehr geeignet ist, den wirklichen absoluten Widerstand der Haut scheinbar noch um ein Beträchtliches zu vermehren. Während wir nämlich bei unseren Versuchen die Haut leicht in innigen Kontakt mit den Elektroden bringen können, ist dies am Patienten nicht ohne weiteres sicher zu erreichen. So kommt es, daß ein guter Teil von dem beobachteten großen Widerstand der Haut auf Rechnung des Uebergangswiderstandes zu setzen ist. Zu dem Leitungswiderstand der Knochensubstanz möchten wir noch die Anmerkung machen, daß sie in unverändertem Zustand den des Fettgewebes um ein Beträchtliches übersteigt. Wir schalteten ein kleines, vollständig reinpräpariertes Stück Röhrenknochen, dessen Durchmesser ungefähr 24 mm, dessen Länge 10 mm betrug, zwischen unsere scheibenförmigen Elektroden und versuchten zuerst in der Quer- dann in der Längsrichtung das Maximum des uns verfügbaren Stromes hindurchzusenden. Ohne Erfolg! Das Instrument gab keinen Ausschlag. Auf Temperaturbeobachtungen verzichteten wir von vornherein, weil sie nur auf thermoelektrischem Wege, wofür wir in der Klinik nicht eingerichtet waren, durchzuführen gewesen wären. Die in der Tabelle von Fig. 9 schraffiert gezeichneten Säulen geben die spezifische Wärme der verschiedenen Organe als

Durchschnittswerte von je 6 Untersuchungen wieder. Einzelne derselben, wie z. B. vom Muskel und vom Blut, sind ja schon länger und zum Teil auch in anderen von unseren Ergebnissen abweichenden Größen bekannt. Wir mußten natürlich an unseren Resultaten festhalten, schon deshalb, um den inneren zahlenmäßigen Zusammenhang der gefundenen Werte, welcher durch die Gleichartigkeit der Untersuchungsbedingungen garantiert wird, möglichst zu wahren. Die zwischen unseren und anderen Angaben bestehenden Wertdifferenzen mögen neben anderem auch auf die Verschiedenheit der Bestimmungsmethoden zurückzuführen sein. Sie beweisen aber auch, wie schwankend der Boden ist, auf dem wir uns bewegen.

Darin liegt ja eben die ganze Schwierigkeit unseres Unternehmens. Wir können keine fest bindenden Werte geben. Und so wertvoll die Kenntnisse gewisser physikalischer Grundgesetze für die Anwendung dieser Ströme sind, so verfehlt wäre es zu glauben, daß eine klare Vorstellung und strenge Beobachtung derselben Schaden verhüten könnte. Von den für die Gesetze der Physik geltenden Faktoren sind am lebenden Organismus leider nur die äußeren von Zeit, Stromstärke und Stromspannung unveränderlich fest, alle anderen, wie z. B. der spezifische Widerstand, die spezifische Wärme, stellen in ihren Schwankungen eine stetig wechselnde Größe dar. Und selbst, wenn wir diese Größen aus dem Chaos der Zufälligkeiten herausheben könnten, so würden wir doch darüber nie hinwegkommen, daß wir dem Strom nur in beschränkter Weise seine Bahn vorschreiben können. Denn die durch den stetig wechselnden Leitungswiderstand der Gewebe im Organismus geschaffenen Leitungsbedingungen führen dazu, daß der Strom gewissermaßen elektiv verfährt, d. h. daß er Gewebsgruppen oder Organe mit größerem spezifischen Widerstand auf seiner Bahn mehr oder weniger meidet, um dafür solchen geringeren Widerstandes zu folgen. Sicher ist dieses elektive Vermögen des Stromes für uns zunächst ein wenig berechenbarer Faktor, der seine therapeutische Anwendung ungemein erschwert. Allein liegt nicht vielleicht eben darin auch das Mittel, um z. B. durch eine Füllung mit gut oder schlecht leitenden Substanzen dem Strom bestimmte Wege zu schaffen oder zu verlegen? Für die Hohlorgane, wie Darm, Magen, Blase erscheint uns dieses Vorgehen, welches Sellheim bei seinen Beobachtungen über den Temperaturanstieg (2) zum ersten Mal praktisch beschrieb, nicht aussichtslos; schon deshalb, weil es für das Anwendungsgebiet der Hochfrequenzströme ganz neue Gesichtspunkte schaffen würde.

Literatur.

1) Nesper, Wärmeeinwirkung durch Hochfrequenzströme in organischen Geweben (Thermopenetration). Physikal. Zeitschr., 11. Jahrg., No. 4. — 2) Sellheim, Die elektrische Durchwärmung des Beckens als Heilmittel. Monatsschr. f. Geburtsh. u. Gynäkol., Bd. 37, 1910. — 3) Bernd, Ueber Thermopenetration. Zeitschr. f. physikal. u. diätet. Therapie, 1909, H. 3. — 4) Eitner, Ueber Verwendung der Thermopenetration in der Gonorrhoetherapie. Wien. klin. Wochenschr., 1909, No. 34. — 5) Nagelschmidt, Ueber Diathermie, Transthermie, Thermopenetration. Münch. med. Wochenschr., 1909, No. 50. — Derselbe, Ueber Hochfrequenzströme, Fulguration und Transthermie. Zeitschr. f. physikal. u. diätet. Therapie, 1906, H. 3. — 6) Walter, Ueber die physikalischen Grundlagen der Thermopenetration. Münch. med. Wochenschr., 1910, No. 5.

Lebenslauf.

Am 1. Mai 1881 wurde ich zu Rosario de Santa Fé in Argentinien geboren als Sohn des verstorbenen Kaufmanns Friedrich Wildermuth in Rosario de Santa Fé. 1888 kam ich zum Zweck meiner Erziehung und Ausbildung nach Deutschland. Hier besuchte ich zunächst die Realschule in Stuttgart, um dann 1899 diese zu verlassen und das Aufnahmeexamen in die VII. Klasse des dortigen Karlsgymnasiums zu machen. Im Sommer 1903 erlangte ich das Reifezeugnis dieser Anstalt. Im Frühjahr 1904 bezog ich die Universität Heidelberg und bestand dort nach 5 Semestern im Sommer 1906 das Physikum. Die nachfolgenden klinischen Semester verbrachte ich in Straßburg, München, zuletzt in Tübingen, wo ich dann im Winter 1909 das Staatexamen ablegte.

Vorstehende Dissertation verfaßte ich auf Anregung von Herrn Professor Dr. Sellheim als Medizinalpraktikant an dessen Klinik. Es ist mir ein Bedürfnis, auch hier Herrn Professor Sellheim für das mir entgegengebrachte Interesse und die empfangene Anregung meinen ergebensten Dank auszusprechen. Ebenso bin ich Herrn Professor Dr. Ganz am hiesigen physikalischen, und Herrn Professor Dr. Bürker am hiesigen physiologischen Institut für ihre freundliche Beratung zu aufrichtigem Danke verpflichtet.

Frommannsche Buchdruckerei (Hermann Pohle) in Jena — 3875

Frommannsche Buchdruckerei (Hermann Pohle) in Jena.